

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja tehnoloogia teaduskond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geoloogia osakond

Keiu Kiisler

STANDARDSE JA EBASTANDARDSE SURUPENETRATSIOONIKATSE VAHELISE
KORRELATSIOONI LEIDMINE PEHMETES PINNASTES MUUGA SOJAUBADE
TÖÖTLEMISTEHASE JA VEERENNI 24 (TALLINN) EHTUSGEOLOOGILISTE
UURINGUTE PÕHJAL

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Annette Sedman

Kaitsmisele lubatud:

Tartu 2013

SISUKORD

1. Sissejuhatus	3
2. Materjal ja metoodika	5
2.1. Uuringualade geoloogiline ehitus	5
2.1.1. Objekt nr. 1 (Muuga)	5
2.1.2. Objekt nr. 2 (Veerenni)	6
2.2. Surupenetratsioonikatsed	6
2.3. Andmetöötlus	7
3. Tulemused	9
4. Arutelu	14
5. Järeldused ja kokkuvõte	16
Summary	18
Tänuavaldus	19
Kasutatud kirjandus	20

SISSEJUHATUS

Ehitusgeoloogia on geoloogia haru, mis uurib maapinnast sügavamale jääva materjali – pinnase ja kivimite – omadusi ning iseloomustab seda ehitiste projekteerimiseks vajalike arvsuurustega (Talviste, 2010). Ehitusgeoloogiliste tööde käigus uuritakse ala üldist geoloogilist ehitust ning selgitatakse proovide võtmise, puurimise, väli- ja laborikatsete (*in situ* ja *ex situ*) käigus välja ala ehitusgeoloogilised tingimused ning geotehnilised parameetrid. Ehitusgeoloogilisteks välitöödeks on puurimine, kaevandite tegemine ja mitut tüüpi välikatsed, näiteks penetratsioonikatsed (Price & Freitas, 2009).

Ehitusgeoloogiliste uuringute käigus leitakse muuhulgas pinnase mehaanilisi omadusi – tugevust ja kokkusurutavust – iseloomustavad arvnäitajad, mida kasutatakse projekteerimise faasis ehitiste konstruktsioonide planeerimiseks. Selliste näitajate leidmiseks on võimalik kasutada väli- või laborikatseid, kuid sageli on eelistatud välitingimustes läbiviidavad katsed. Need annavad usaldusväärsemaid tulemusi, kuna pinnas on looduslikus olekus, samuti on võimalik iseloomustada tervet pinnaseprofiili, mitte vaid üksikuid punkte (Coduto, 1999). Pehmete pinnaste tugevust ja kokkusurutavust iseloomustavate näitajate määramiseks kasutatakse palju *in situ* penetratsioonikatseid. Penetratsioonikatsete käigus süvistatakse puurvarraste otsas maapinda seade, mis lihtsustatult öeldes mõõdab pinnase takistust. Penetratsioonikatsetest saadud näitajate põhjal on võimalik välja töötatud korrelatsioonide järgi määrata projekteerimiseks vajalikud lähteandmed – lisaks erinevate kihtide sügavusele ka tugevus- ja kokkusurutavusparameetrid ja vaia kandevõime (Masso, 2010).

Penetreerimistehnoloogia alusel jaotatakse penetratsioonikatsed alaliikideks: standard-, löök-, suru- ja keerdpenetratsioonikatse. Löök- ja standartpenetratsioonikatse (DPT – Dynamic Penetration Test ja STP – Standart Penetration Test) puhul süvitatakse vardaid pinnasesse löökide abil, kuid STP seade võimaldab võtta ka pinnaseproove (Venkataramaia 2006). Keerdpenetratsiooni (WST – Weight Sounding Test) katse põhineb mõõteseadme kruvikujulise otsku süvistamisel pinnasesse keeramise teel, registreerides teatud vahemaa läbimiseks kulunud poolpöörete arvu (Eesti Standardikeskus, 2008). Käeolev töö käsitleb surupenetreerimist (CPT – Cone Penetration Test), mis põhineb penetreerimisseadme varraste ühtlasel surumisel pinnasesse. Puurvarraste otsa on kinnitatud sarnasel DPT-le koonusekujuline suletud seade, mis mõõdab kindla intervalli tagant otsa ja külje surumiseks rakendatud jõudu.

Lisavõimalusena saab eksperimendi käigus registreerida poorirõhku (Venkataramaia, 2006).

Lisaks on olemas ka kombineeritud penetratsioonikatsed, mille üheks näiteks on ka käesolevas töös analüüsitud suru-löökpenetratsioonikatse (CDPT – Cone-Dynamic Penetration Test). Selles katses kasutatakse seade pehmete pinnaste puhul surupenetreerimise meetodit ning tugevamate pinnaste puhul rakendub löökpenetratsiooni mehhanism. Kombineeritud penetreerimist kasutatakse, kuna ei suuda rakendada tugevamatesse pinnastesse surumiseks piisaval määral vastukaalu. Kui pinnasetugevus ületab surumisjõu, minnakse üle löökpenetratsioonikatsele (P. Sedman, 2007).

Lähtudes geotehnilise projekteerimise välikatsete standardist (Eesti Standardikeskus, 2008), kasutatakse Eestis standardse surupenetratsioonikatse korral koonuseotsikut tipunurgaga 60° ning koonuse alune pindala peab olema 1000 mm^2 ehk 10 cm^2 . Nimetatud dokumendis on korrelatsioonid ning tuletatud väärtused (sisehõõrdenurk, deformatsioonimoodul) vaia kandevõime ja vajumite arvutamiseks seotud ainult standardse surupenetratsioonikatsega. Näitajad ei kehti mittestandardsete surupenetratsioonikatsete puhul, nagu näiteks eelnevalt kirjeldatud kombineeritud penetratsioonikatse.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on leida, kas standardse surupenetratsioonikatse (CPT) ja kombineeritud suru-löökpenetratsioonikatse (CDPT) tulemuste vahel on otsene seos ning kas see sõltub pinnase liigist. Leitud seost saaks hiljem ka praktikas pinnase kokkusurutavuse ja tugevusenäitajate võrdlemiseks projekteerimisel rakendada. Töö põhineb kahe ehitusgeoloogilise uuringu andmetel, mis on tehtud Harjumaal erinevates pinnastes. Mõlema uuringu puhul on läbi viidud dubleeritud (paralleelsed) katsed, s.t. erineva meetodikaga tehtud surupenetratsioonikatsed on tehtud kõrvuti.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2. 1. Uuringualade geoloogiline ehitus

Erineva meetodikaga tehtud surupenetratsioonikatse korreleerimiseks on kasutatud Harjumaa kahes erinevas piirkonnas läbi viidud ehitusgeoloogiliste uuringute penetratsioonikatsete lähteandmeid:

1. Objekt nr. 1 (Muuga): Muuga sojaubade tööstlusehase ehitusgeoloogilised uuringud (IPT Projektijuhtimine OÜ, 2007);
2. Objekt nr. 2 (Veerenni): Veerenni 24, Tallinn ehitusgeoloogilised uuringud (Rei Geotehnika OÜ, 2013).

Objektide asukohad Tallinna kaardil on toodud Joonisel 1. Mõlemal objektil esineb küllaltki paks pinnakate (Muugal kuni 18 m ja Veerennis kuni 30 m), mis koosneb erinevatest pehmetest pinnastest. See tagab piisavalt lähteandmeid, et hinnata korrelatsioone ka erinevate pinnaseliikide puhul.



Joonis 1. Uuringualade paiknemine, google maps kaardiserver

2.1.1. Objekt nr. 1 (Muuga)

Uuringuala paikneb Harju maakonnas, Viimsi vallas, Muuga külas, Muuga Sadamas. Uuringupunktid asuvad Muuga Tööstuspargi läänepoolsel territooriumil, Muuga asulast ligikaudu 1 km kaugusel Koorma ja Virna tänava äärsel aladel. Tehnogeneenne ala on tekkinud mere täitmisel, maapinna absoluutkõrgus jääb vahemikku 2,5–3,5 m.

Täitepinnasena on ülemises osas kasutatud enamasti killustiku-liiva segu, mis kohati sisaldab lubjakivi lahmakaid, kive või purustatud betooni. Täite alumine osa koosneb põhjasetetest – peenliivast-möllist, mida pumbati Muuga sadama süvendusaladelt. Piir pumbatud liiva ja kohapeal settinud liiva vahel ei ole alati selgesti jälgitav. Tinglikult on loetud alumine tihenend kompleks looduslikuks kihiks. Liivpinnaste all levivad nõrgad merelised ja jääjärvelised setted ning liustiksetted. Aluspõhjaks on kambriumi vanusega kõva savi, mis sisaldab aleuroliidi ja liivakivi vahekihte. Aluspõhi paikneb maapinnast 9–18 m sügavusel. (P. Sedman, 2007)

2.1.2. Objekt nr. 2 (Veerenni)

Uuritud ala paikneb Harju maakonnas, Tallinna südalinna äärel, Baltika kvartalis, aadressil Veerenni 24. Uuringupunktid jäävad AS Kawe Group Baltika Kvartali büroohoonete parkimisplatsi alale. Uuritud ala asub klindiesisel meretasandikul, kus aluspõhjalised Alam- Kambriumi aleuriitne savi ja liivakivi lasuvad ca 30 m sügavusel maapinnast. Pinnakate koosneb täitepinnasest, merelistest liivadest, jääjärvelistest savipinnastest ja jääjõelistest liivadest (Matrunjonok, 2013). Uuritav ala on välitööde teostamise hetkel kasutuses autoparklana, mille põhiosa on asfalteeritud. Täitepinnasena on kasutatud liiva, mulda, ehitusprahti. Täitepinnasekihi all asetseb erineva lõimisega meretekkeline liivakompleks, mis on jagatud kolmeks kihiks: keskliiv, möllikas või savikas peenliiv, mölline peenliiv. Liivakompleksi all lasub jääjärveliste savipinnaste kompleks: väheplastne savi (möllsavi), väheplastne rohke liivaga savimöll. Savipinnaste kompleksi alla jääb jääjõelise tekkega peenliiv. Aluspõhi avaneb Alam-Kambriumi aleuriitse savi ja liivakivina (Matrunjonok, 2013).

2. 2. Surupenetratsioonikatsed

Surupenetreerimise käigus surutakse varda otsas paiknevat koonust konstantselt pinnasesse, süvistamine toimub püsiva kiirusega 10 kuni 20 mm/s. Mõlemal objektil viidi läbi nii standardsed surupenetratsioonikatsed (CPT) kui ka kombineeritud penetratsioonikatsed (CDPT). Seejuures tehti igas käsitletud uuringupunktis mõlemat tüüpi katsed ning katsete vahemaa ei ületanud 1 m. Töö autor osales objekt nr. 2 läbi viidud välitöödel.

Standardised surupenetratsioonkatsed (CPT)

Standardse seadme otsiku läbimõõt on 37,5 mm, pindala 10 cm² ning koonuse tipunurk 60° ± 15' (Venkataramaia, 2006). Mõõtmise tulemusena registreeritakse koonuse otsa takistus (q_c , MPa) ja külghõõre (f_c , kPa) (Robertson et al., 1983). Objektil 1 (Muuga) tehti standardised katsed seadmega HYSON 200 kN, mõõtmistulemus loeti iga 2 cm tagant. Objektil 2 (Veerenni) kasutati agregaadiga GM 65 GTT elektroonilist standardset penetromeetrit ENVI. Mõõtmistulemused loeti iga 4 cm tagant.

Objektil nr. 1 tehti 8 CPT katset sügavusega 4,25–14,45 m, objektil nr. 2 üks katse sügavusega 8,7 m.

Kombipenetratsioonikatsed (CDPT)

Eestis kasutatakse sageli välitööde läbiviimiseks kombineeritud penetreerimist (agregaadiga GM 65 GTT), s.t penetratsioonikatse liiki, kus kasutatakse kombineeritult nii löök- kui ka surupenetratsiooni pinnase omaduste mõõtmiseks. Pehmetes pinnastes kasutatakse kombineeritud agregaat GM 65 GTT surupenetreerimise meetodit ning tugevamate pinnaste puhul rakendub löökpenetratsiooni mehhanism. Kombipenetratsioonikatsed tehti agregaadiga GM 65 GTT. Kasutati löökpenetratsioonikatse seadet, mille parameetrid on järgmised: löögivasar kaaluga 63,5 kg, langetuskõrgus 0,5 m, vardad kaaluga 6 kg, koonuse otsiku pindalaga 16 cm². Katse käigus, sügavusintervallides, kus see oli võimalik, suruti koonus pinnasesse ning mõõdeti surumise jõudu elektrooniliselt iga 4 cm tagant. Surumise jõust arvutati eritakistus. Kui pinnasetugevus ületas surumise jõu, siis tehti löökpenetratsioonikatse ning mõõdeti 20 cm läbimiseks kulunud löökide arvu (Melander, 1989). Käesolevas töös on käsitletud ainult neid intervale, kus seade kasutas surupenetreerimist.

Objektil nr. 1 tehti 8 CDPT katset sügavusega 4,1–13,4 m, objektil nr. 2 kaks katset sügavusega 8,7 m.

2.3 Andmetöötlus

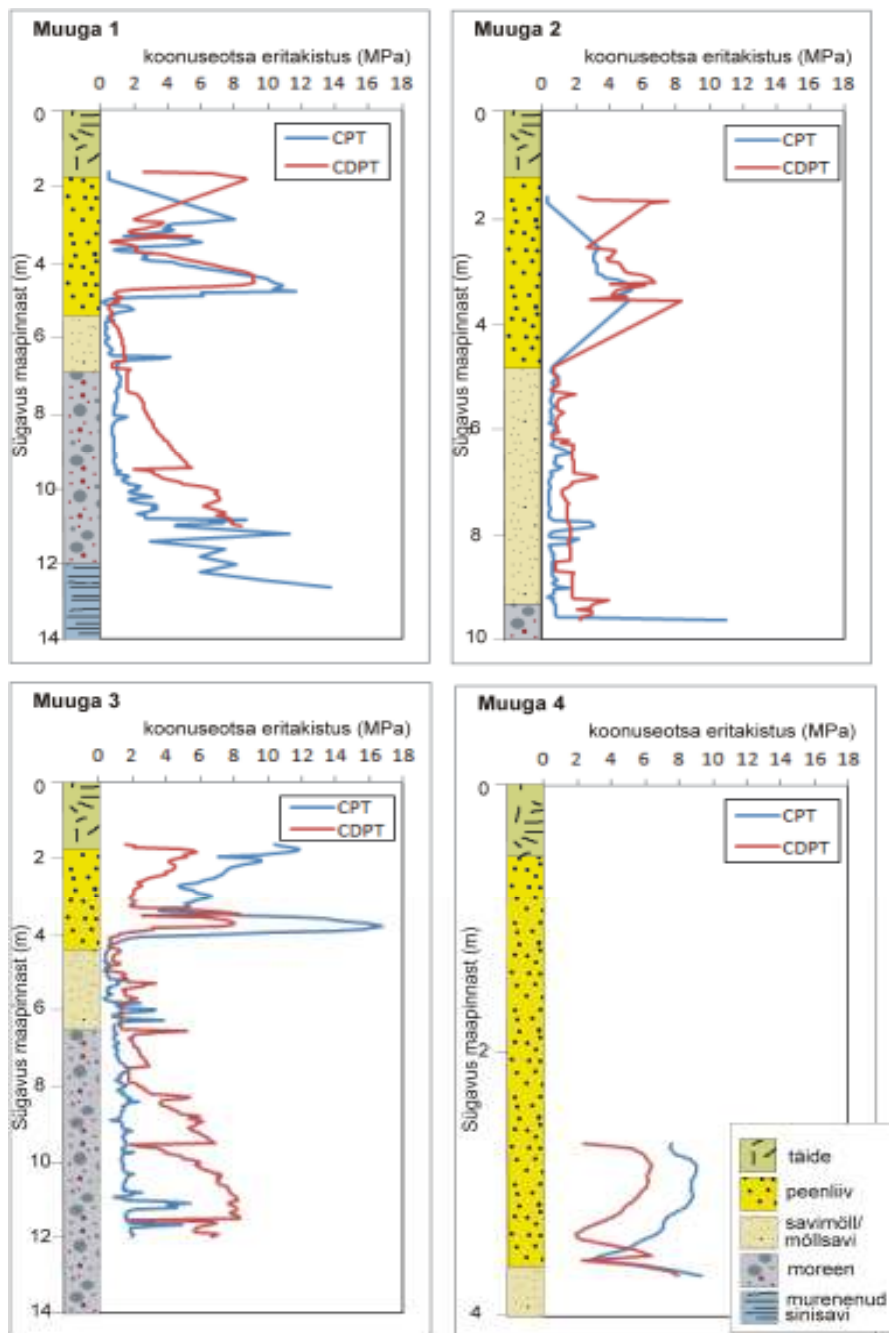
Mõlema objekti peale kokku on kasutatud 1487 mõõtmispunkti (igas punktis CPT ja CDPT väärtus). Andmetöötlusprogrammis Excel on on korrigeeritud välitööde tulemusi ning seotud CDPT ja CPT koonuseotsa eritakistused samadel mõõtmis sügavustel. Kuigi osade CPT katsete puhul on koonuse otsa takistust mõõdetud iga 2 cm tagant, on analüüsi võetud

näitajad iga 4 cm tagant, et need oleksid CDPT katsetega võrreldavad. Kuigi paralleelsed katsed on tehtud küll võimalikult lähestikku, võivad kihipiiris siiski juba väikse vahemaa peale pisut kõikuda. Sellest tuleneva vea vältimiseks on analüüsist välja jäetud punktid, mis asuvad kihipiiridest ± 20 cm kaugusel.

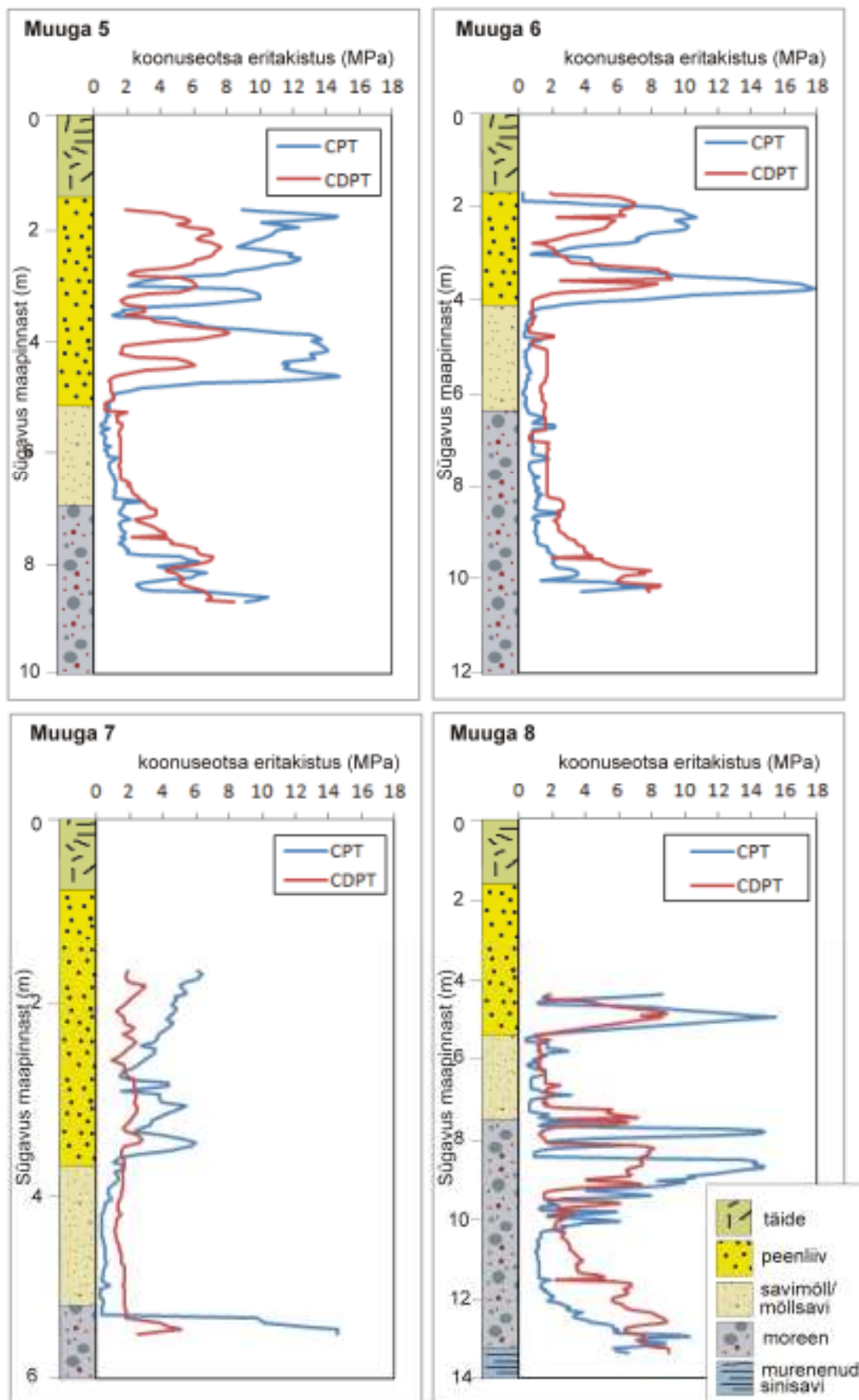
Paralleelselt tehtud penetratsioonikatsete tulemused (koonuseotsa takistus paralleelsest CPT ja CDPT katsest) on graafiliselt ühildatud ning esitatud hajus- ehk XY-diagrammi kujul. See võimaldab hinnata, kas nende vahel on seos. Seose esinemist on esmalt hinnatud kõigi andmete põhjal sõltumata pinnaseliigist ja seejärel pinnaseliikide kaupa eraldi. Jälgimise alla on võetud kolme tüüpi pinnased: 1) mölline peenliiv, 2) möllsavi ja savimöll ning 3) moreen (mölline savi liiva ja kruusaga). CDPT ja CPT seos on avaldatud lineaarse regressioonivõrrandi ja determinatsioonikordaja (R^2) kaudu iga katse ja pinnaseliigi kohta. Saadud kahe muutujaga lineaarvõrrandid on seotud liitmisvõttega võrrandsüsteemi ning viidud taandatud ja lihtsustatud kujule.

3. TULEMUSED

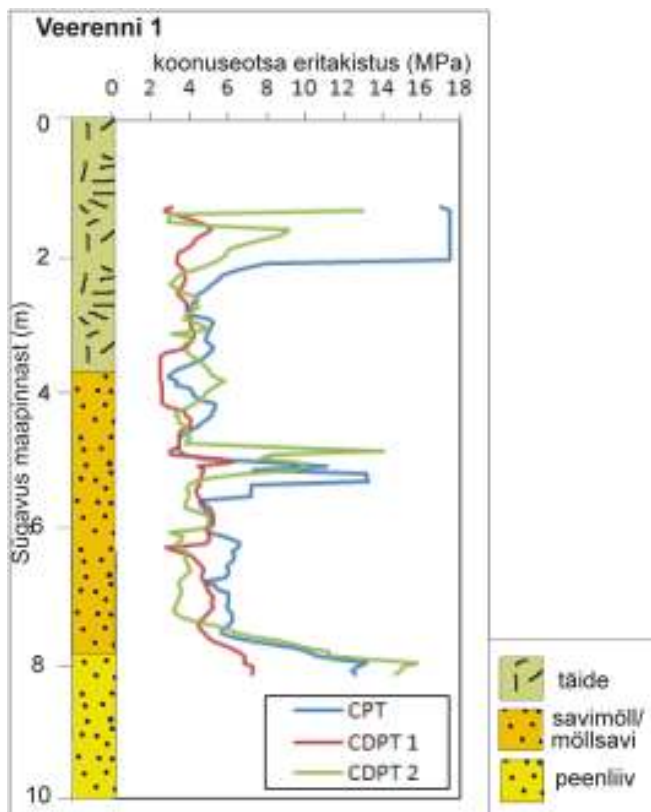
Joonistel 2-4 on esitatud kõikides uuringupunktides tehtud paralleelsete surupenetratsioonikatsete profiilid; pinnasekihtide paksused ja nimetused on võetud vastavatest aruannetest (P. Sedman, 2007 ja Matrunjonok, 2013). Visuaalsel hinnagul muutuvad CPT ja CDPT ertakistused küllaltki sarnaselt ning pinnasekihid on eristatavad mõlema meetodikaga, kuid lisaks on võimalik eristada juhuslikku varieeruvust üksikutes punktides.



Joonis 1. CPT ja CDPT koonuseotsa ertakistus ja pinnaseprofiil



Joonis 3. CPT ja CDPT koonuseotsa eritakistus ja pinnaseprofiil



Joonis 4. CPT ja CDPT koonuseotsa eritakistus ja pinnaseprofiil

Iga uuringupunkti kohta leiti graafilisel kujutamisel andmestikust tulenev seos CPT ja CDPT vahel. Tulemuseks saadud võrrandid koos R^2 väärtustega on esitatud tabeli kujul Objekti nr. 1 ja Objekti nr. 2 kohta iseseisvalt (Tabel 1).

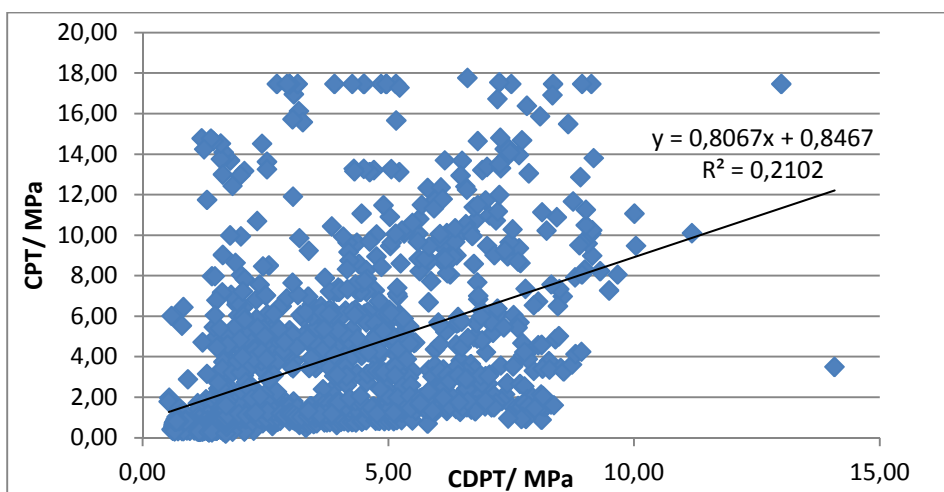
Tabel 1. Lineaarsed korrelatsioonivõrrandid uuringupunktides, sõltumata pinnaseliigist, Objekt nr. 1 (Muuga) ja nr. 2 (Veerenni).

Uuringupunkt	Võrrand	R^2
Muuga 1	$y = 0,4723x + 0,6710$	0,2054
Muuga 2	$y = 0,6328x - 0,0178$	0,4015
Muuga 3	$y = 0,2931x + 1,9965$	0,0384
Muuga 4	$y = 0,4776x + 4,4394$	0,1199
Muuga 5	$y = 0,9513x + 2,0292$	0,1957
Muuga 6	$y = 1,0206x + 0,0251$	0,3354
Muuga 7	$y = 3,4642x - 3,5281$	0,5508
Muuga 8	$y = 0,5612x + 1,8414$	0,0890
Veerenni 1.1	$y = 0,9995x + 3,1488$	0,0616
Veerenni 1.2	$y = 0,6094x + 4,0056$	0,1674

Liitmisvõttega on lineaarsed võrrandid ühendatud võrrandsüsteemi, saades tulemuseks koondvõrrandid kogu pinnase läbilõike kohta:

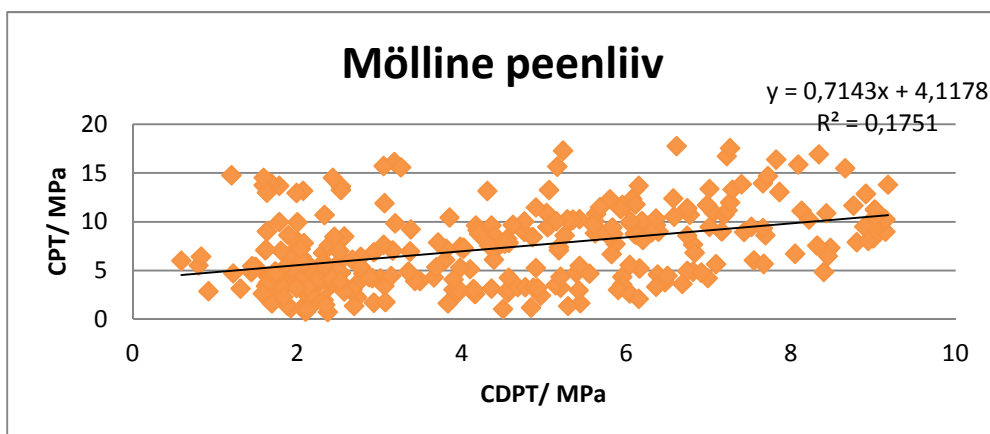
1. Objekt nr. 1: $8y = 7,8731x + 7,4567$, lihtsustatud kujul $y = 0,98x + 0,93$;
2. Objekt nr. 2: $2y = 1,6089x + 7,1544$, lihtsustatud kujul $y = 0,81x + 3,58$.

Joonisel 4 on toodud kõikide analüüsitud punktide hajuvusdiagramm.

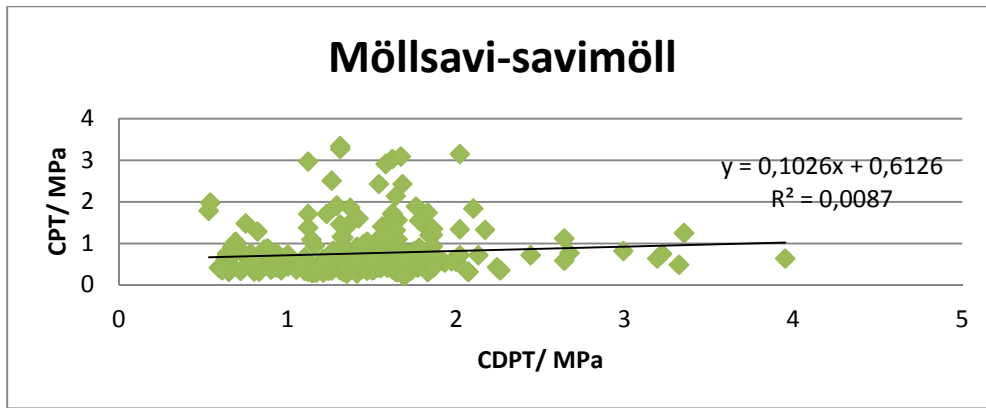


Joonis 5. CPT ja CDPT koonuotsa eritakistuste vaheline seos kõikides pinnastes kokku

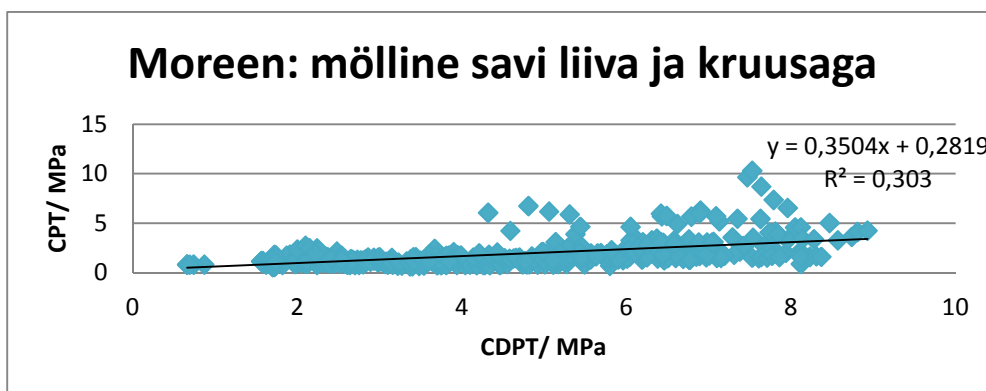
Seose esinemist CDPT ja CPT vahel hinnati lisaks pinnaseliigist sõltuvalt. Erinevate puuraukude andmed koondati pinnaseliikide kaupa kokku. Iga analüüsitud pinnaseliigi kohta joonistuseid välja erineva hajususega graafikud (Joonis 6 kuni Joonis 9).



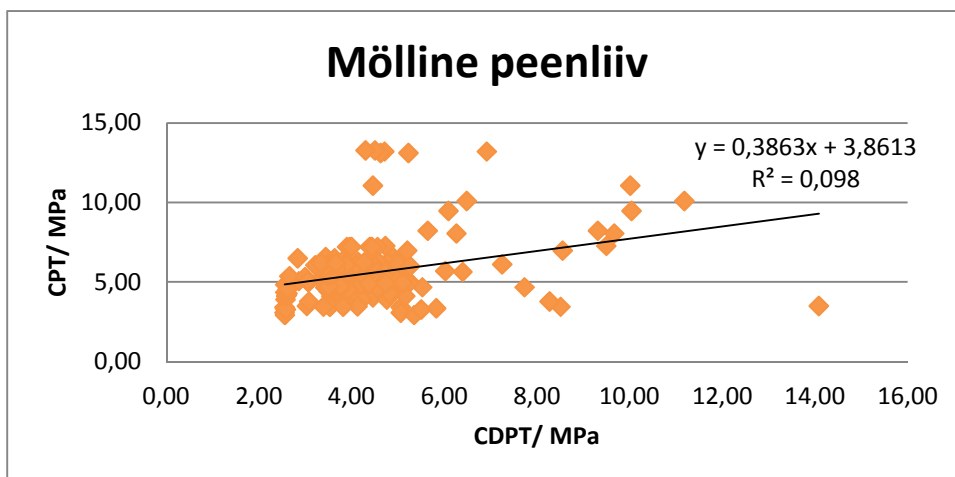
Joonis 6. CPT ja CDPT koonuotsa eritakistuste vaheline seos möllilises peenliivas Objekt nr.1 (Muuga)



Joonis 7. CPT ja CDPT koonuotsa eritakistuste vaheline seos möllsavi-savimöllis Objekt nr. 1 (Muuga)



Joonis 8. CPT ja CDPT koonuotsa eritakistuste vaheline seos moreenis: mölline savi liiva ja kruuga Objekt nr. 1 (Muuga)



Joonis 9. CPT ja CDPT koonuotsa eritakistuste vaheline seos möllilises peenliivas Objekt nr. 2 (Veerenni)

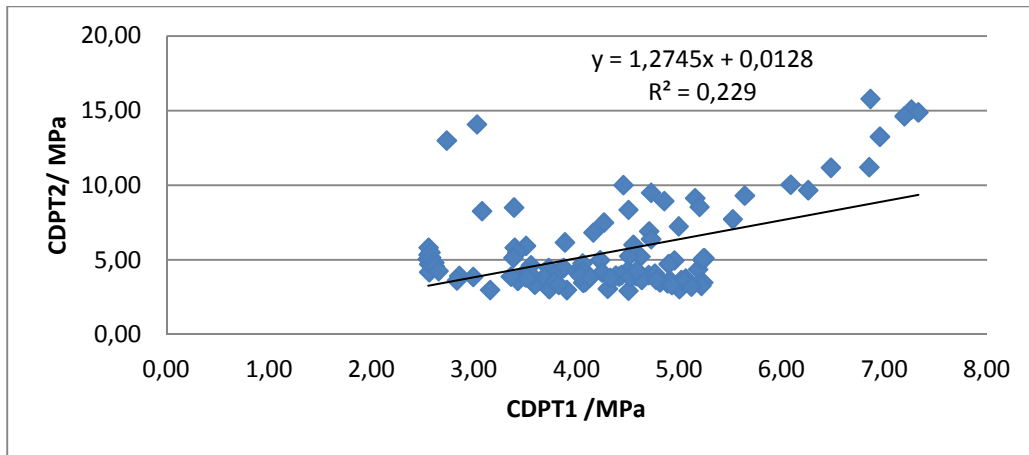
4. ARUTELU

Visuaalsel vaatusel on näha paralleelsete surupenetratsioonikatsete profiilidelt CPT ja CDPT koonuseotsa eritakistuse muutust sügavuse suunas. Valdavalt on CPT koonuseotsa eritakistus madalamates pinnasekihtides (kuni 4 m) väärtustelt suurem kui CDPT koonuseotsa eritakistus. Olukord muutub vastupidiseks 5 m sügavusel maapinnast, möllsavi- savimölli kihtides, kus CPT koonuseotsa eritakistus muutub väiksemaks võrreldes CDPT väärtustega.

Nii kõiki katsepunkte koondav graafik (Joonis 5) kui ka üksikute paralleelkatsete liitmisel saadud koondvõrrandid (Tabel 1) näitavad, et lineaarne seos CPT ja CDPT koonuseotsa takistuse vahel on väga nõrk. Punktide graafikul paiknevad hajusalt ning determinatsioonikordaja (R^2) väärtus on vaid 0,21. Ka pinnasetüüpide kaupa tehtud analüüs näitas nõrka seost. Erinevate pinnasetüüpide graafikutelt on näha, et kõige paremini korreleerus pinnaseliikidest moreen: mölline savi liiva ja kruusaga. Diagrammilt on näha punktiparve koondumist ning determinatsioonikordaja (R^2) väärtus on katsetulemustest suurim, 0,3. Möllise peenliiva ning möllsavi ja savimölli hajusdiagrammide punktiparved paiknesid graafikul laialipaisatult.

Nõrka seost katsetulemuste vahel võib põhjustada loodusliku pinnase heterogeensus. Geotehnilisest vaatenurgast loob pinnas oma looduslikus olekus erinevate deformatsioonidega ebakindlust pinnaseparameetrite mõõtmisel. Pinnase mitmekesisusest tulenevid usaldusväärsuse probleeme on käsitletud savikates pinnastes ning uurimistöö tulemusena on aksepteeritud varuteguri kasutamine parameetrite arvutamisel (Srivavaste 2009). Võib oletada, et paljude pinnaseuuringute puhul avaldab pinnase heterogeensus tulemustele märgatavat mõju.

Läbiviidud katsete resultaate mõjutab ebaühtlase lõimisega pinnas, moreenis esinevad veerised-munakad ning pinnasekihtides esinevad kohevamad või tihedamad tsoonid. Koonuseotsik on väga tundlik kõikidele kõrvalekalletele. Sellist varieerumist saab hästi iseloomustada Objektil nr. 2 (Veerenni) läbi viidud CDPT katsega, mis viidi läbi ühes ja samas uuringupunktis. Mõlema katse tulemused on esitatud Joonisel 10, kust on näha, et sama meetodikaga lähestikku läbi viidud katse puhul on seos nõrk ja pinnase homogeensust välja ei joonistu.



Joonis 10. Paralleelkatsete tulemused pinnase heterogeensuse hindamiseks Objektil nr. 2.

Üheks kitsaskohaks korrelatsiooni välja töötamisel võib pidada liiga vähest andmehulka; suurema andehulga puhul mõjutaksid üksikud anomaalsed punktid tulemusi vähem ning seosed erinevate pinnaste puhul oleksid paremini välja tulnud. Ei ole ka välistatud, et seost mõjutab veel mõni tegur, näiteks sügavus või poorirõhk.

Analoogsete uuringute näide

Rahvusvahelises praktikas on olnud püüdlused leida korrelatsiooni Hiinas kasutatava CPT, koonuseosik pindalaga 15 cm², ja rahvusvahelisel standardil põhineva CPTU, koonuseotsik pindalaga 10 cm², vahel edukad. Võrdlevaid uuringuid viidi läbi viies erinevas asukohas Hiinas, kus paralleelsed katsed viidi läbi savikates pinnastes ning alluviaalsetes setetes. Selgus, et erineva pindalaga koonuste tulemusi võib savikates pinnastes lugeda võrreldavaks ning projekteerimise praktikas kasutusel olnud korrelatsioone, mis baseeruvad 10 cm² koonuseotsiku tulemustele, saab kasutada ka Hiina 15 cm² koonuseotsiku puhul (Liu et al. 2010).

Eelpool kirjeldatud katse puhul võeti algandmete korrigeerimisel arvesse poorirõhu mõju ning erineva suurusega koonuseotsikute suhet (Liu et al. 2010). Teise uurimuse (Lunne et al., 1997 cit. Liu et al. 2010) tulemustele põhinedes avaldab poorirõhk koonuse sisemist geometriat arvesse võttes mõju, kuid pehmetes pinnastes saab poorirõhu poolt tekitatud efekti maha arvutada, kui on teada poorirõhk ning koonuse mõõtmeid iseloomustavad parameetrid. Kuna töös kasutatud CDPT katsetes poorirõhku ei mõõdetata, ei ole kahjuks võimalik sellist parandust sisse viia. Kuigi CPT katsetes on poorirõhku mõõdetud, ei ole see CDPT katsetulemustesse üleviidav, sest vaja on just konkreetse eritakistuse väärtuse mõõtmisel esinevat poorirõhku.

5. JÄRELDUSED JA KOKKUVÕTE

Analüüsidest töö graafilisi tulemusi, on näha, et punktid XY–diagrammidel on paigutunud väga hajusalt, R^2 väärtus vahemikus 0,0384...0,5508 (Tabel 1), ning ühtset seost erineva meetodiga tehtud katsetulemuste vahel välja ei joonistu. Kahjuks ei leidu ka lihtsustatud võrrandiresuldaatide puhul Objektil nr. 1 $y = 0,98x + 0,93$ ja Objektil nr. 2 $y = 0,81x + 3,58$ analoogiat.

Erinevate pinnaseliikide graafikutelt (Joonis 6 kuni Joonis 9) loetavad R^2 väärtused varieerusid vahemikus 0,3030...0,0053. Vastavalt R^2 väärtustele saab välja lugeda väga nõrka surupenetratsiooni- ja kombipenetratsioonikatsete tulemuste vahelist korrelatsiooni.

Korrelatsiooni näite puhul Hiinas on tehtud töö tulemus positiivsem võrreldes käesoleva teadustööga. Nõrga korrelatsiooni oletatavaks põhjuseks võib seetõttu lugeda andmemahu ning uuringupunktide vähesust bakalaureusetöös. Eraldiseisvalt on Liu töös arvestatud analüüsi tulemuste korrigeerimisel poorirõhu poolt põhjustatud mõjutusi koonuseotsa eritakistusele. Bakalaureusetöös kasutatud CDPT seade ei võimalda määrata poorirõhku. Paralleelseid katseid läbi viidud seadmega pole võimalik hinnata antud parameetri mõju koonuseotsa eritakistusele ega efekti olemasolu tõestada. Näite põhjal võib veel diskuteerida ainult ühte tüüpi pinnas käsitlemise vaatenurgast, mis annaks oletatavalt fokuseeritumaid tulemusi korreleerimisel.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli kahe uuringuobjekti andmeid analüüsides välja selgitada standardse ja ebastandardse seadmega pehmetes pinnastes läbiviidud surupenetratsioonikatsete vaheline potentsiaalne korrelatsioon, et ühendada ebastandardse kombineeritud suru-löökpeneratsioonikatsed (CDPT) tulemused standardse surupenetratsioonikatsed (CPT) tulemustega. Sel juhul saaks CPT-l baseeruvaid korrelatsioone pinnase tugevust ja kokkusurutavust iseloomustavate näitajatega edaspidiselt projekteerimisel kasutada.

Võrdlemiseks kasutati Harjumaal Muuga sojaubade töötlemise tehase ning Veerenni 24, Tallinn, ehitusgeoloogiliste uuringute algandmeid. Mõlemas piirkonnas esineb üpriski paks pinnakate, mis koosneb pehmetest pinnastest. Mõlemal objektil viidi läbi dubleerivaid surupenetratsioonikatsed standardse ning ebastandardse seadmega, mis erinevad koonuse mõõtmete poolest. CPT ja CDPT tulemusi analüüsiti hajusdiagrammide abil nii üle kõigi tulemuste kui ka erinevate pinnaseliikide kaupa.

Töö peamised järeldused on:

1. Uurimustöö käigus sooritatud analüüsides tulemusel võis näha väga nõrka positiivset seost suru- ja kombipenetratsioonikatsete vahel, kuid reaalset kasutatavat korrelatsiooni standardse ja ebastandardse surupenetratsioonikatsed vahel pehmetes pinnastes analüüsitud materjali põhjal ei leitud. Determinatsioonikordaja (R^2) väärtus jäi uuringupunktidest vahemikku 0,0384–0,5508, erinevate pinnaseliikide puhul vahemikku 0,3030–0,0053.
2. Ebaselged seosed CPT ja CDPT vahel võisid olla põhjustatud loodusliku pinnase suurest heterogeensusest, mida toetavad ka paralleelselt läbi viidud kahe CDPT tulemused, mille determinatsioonikordaja (R^2) väärtus oli 0,229. Kuna looduslik pinnas on heterogeenne, oli ilmselt uuringupunktide- ja andmemaht ebapiisav ning korrelatsiooni väljatöötamiseks oleks vaja tunduvalt suuremat andmemahtu.
3. Võimalik, et katsetulemusi mõjutab ka mõnu muu parameeter, näiteks poorirõhk või sügavus, mida käesolevas töös ei analüüsitud. Kirjanduses analüüsitud korrelatsioonide puhul (näiteks Liu et al., 2010) on poorirõhu mõju koonuseotsa eritakistusele arvestatud. Bakalaureusetöös kasutatud CDPT seade ei võimalda määrata poorirõhku ning seega polnud võimalik antud parameetri mõju koonuseotsa eritakistusele hinnata.

SUMMARY

Correlation between standard and non-standard Cone Penetration Test data in soft sediments on the basis of geotechnical investigations at Muuga Soya Processing Factory site and Veerenni 24 (Tallinn)

In the study data of standard Cone Penetration test (CPT) and non-standard combined Cone-Dynamic Penetration Test (CDPT) performed in soft sediments at two different investigation sites were analyzed. Aim of the study was to find potential correlation between CPT and CDPT cone tip resistances in soft soils. This correlation could be used in the engineering practice with the same confidence for non-standard device to calculate soil properties (e.g. compressibility, strength).

Data from two engineering geology reports (Muuga soya processing factory and Veerenni 24, Tallinn) were used for analyzes. Both sites are characterized by relatively thick soft soil cover. Parallel CPT and CDPT tests were performed at both sites. Having double results gives a chance to compare cone resistance measurements of two types of penetration tests. Comparison of cone resistance values was presented on scatter charts based on all the data and by different soil types.

The main conclusions of the study are as follows:

1. Weak positive correlation between CPT and CDPT data was found, but it is too weak to use in practice. Values of coefficient of determination (R^2) stayed between 0,0384–0,5508 in separate investigation points and between 0,3030–0,0053 in different soil types.
2. Weak correlation could be caused by high heterogeneity of natural soils. It is also confirmed by the data from two parallel CDPT tests at the same location that showed coefficient of determination (R^2) only 0,229. As the natural soil is heterogeneous, the quantity of data used in the study was not sufficient. The proper correlation would need much more data.
3. It is possible that other parameters, such as pore pressure or depth also influenced the values of cone resistance as suggested by literature (e.g. Liu et al., 2010). However, the CDPT apparatus used in the current study does not provide data about pore pressure and thus its effect was not studied.

TÄNUAVALDUS

Minu tänusõnad lähevad eeskätt juhendajale, Annette Sedmanile, kelle toetus ja abi olid bakalaureusetöö valmimisel asendamatud.

Kindlasti pean ära mainima ka oma lähedased, kes süstisid minusse motivatsiooni ning usku.

KASUTATUD KIRJANDUS

Coduto, D.P. 1999. *Geotechnical Engineering: Principles and Practice*. Prentice Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi.

Talviste P, 29.10.2010 Geotehniliste uuringute metoodika ja kvaliteedi hindamise kriteeriumid. URL <http://www.geotehnika.ee/1482> (22.04.2013).

Price D. G & Freitas M. H. 2009. *Engineering Geology. Principles and practice*. Berlin: Springer.

Venkataramaiah C. 2006. *Geotechnical Engineering*. New Age International. ISBN: 8122423388, 8122417930.

Robertson P. K., Campanella R.G., ASCE M. and Wightman A., *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 109, No 11, 1983 ASCE.

Masso T. 2010. *Ehituskonstruktori käsiraamat*. Eesti: Ehitame kirjastus.

Sedman P. (2007) Sojaubade töötlemistehas Muugal. Ehitusgeoloogiliste uuringute aruanne. IPT Projektijuhtimine OÜ, töö nr. 07-09-0716.

Matrunjonok D. (2013) Tallinn, Veerenni tn 24 ehitusgeoloogilise uuringu aruanne. OÜ Rei Geotehnika, töö nr 3223-13.

Melander, K. 1989. Puristin-heijarikairaus kairausmenetelmänä. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, Geotekninen osasto, tiedote 48. Helsinki. 99 s. ISBN 951-771-873-X.

Liu, S.Y., Cai, G.J., Tong, L.Y. & Du, G.Y., Puppala A.J. 2010. A comparative study of international CPTU and China double bridge CPT tests. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*, Huntington Beach, CA, USA.

Lunne, T., Robertson, P.K. & Powell, J.J.M. 1997. *Cone penetration testing in geotechnical practice*. Blackie Academic and Professional. London.

Eesti Standardikeskus (2008). Eurokoodeks 7: geotehniline projekteerimine. Osa 2: Pinnaseuuringud ja katsetamine.

Srivastava, A., Sivakumar Babu, G.L. 2009. *Effect of soil variability on the bearing capacity of clay and in slope stability problems*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, Karnataka, India

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Keiu Kiisler, (sünnikuupäev: 19.10.1987):

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose:

STANDARDSE JA EBASTANDARDSE SURUPENETRATSIOONIKATSE
VAHELISE KORRELATSIOONI LEIDMINE PEHMETES PINNASTES MUUGA
SOJAUBADE TÖÖTLEMISTEHASE JA VEERENNI 24 (TALLINN)
EHITUSGEOLOOGILISTE UURINGUTE PÕHJAL,

mille juhendaja on Annette Sedman,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil,
sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse
tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas
digitaalarhiivi DSpace'i kaudu alates 01.06.2013 kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja
lõppemiseni.

2. olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **24.05.2013**